



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология обработки металлов
давлением»

ПРОКАТКА И ВОЛОЧЕНИЕ

Лабораторный практикум

Минск 2009

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология обработки металлов
давлением»

ПРОКАТКА И ВОЛОЧЕНИЕ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины
и технология обработки материалов давлением»

Минск 2009

УДК [621.771+621.778] (076.5)
ББК 34.621я7

Составители:

Е.Б. Ложечников, К.Е. Белявин, М.В. Кудин

Рецензенты:

Л.А. Исавич, В.А. Король

П 78 Прокатка и волочение: лабораторный практикум для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» / сост.: Е.Б. Ложечников, К.Е. Белявин, М.В. Кудин. – Минск: БНТУ, 2009. – 23 с.

Практикум содержит методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Прокатка и волочение», позволяет закрепить теоретические знания по конструированию станов, определению геометрических, энергосиловых и технологических параметров процессов получения различных изделий методом прокатки и волочения. Приведен список рекомендуемой литературы.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Конструкции прокатных станов	5
Лабораторная работа № 2. Определение геометрических параметров продольной прокатки полосы	7
Лабораторная работа № 3. Влияние холодной деформации на механические свойства прокатываемого металла.....	13
Лабораторная работа № 4. Определение энергосиловых параметров продольной прокатки.....	16
Лабораторная работа № 5. Определение жесткости рабочей клетки прокатного стана...	18
Лабораторная работа № 6. Конструкция волочильного стана и технологические приемы волочения проволоки	20
Библиографический список	22

Введение

Дисциплина «Прокатка и волочение» в соответствии с учебным планом специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» состоит из лекционных занятий и цикла лабораторных работ.

Лабораторный практикум по этой дисциплине содержит перечень лабораторных работ, порядок их выполнения, методику использования полученных результатов для определения технологических и энергосиловых параметров процессов прокатки и волочения и определения коэффициента жесткости рабочей клетки прокатного стана.

Выполнение взаимосвязанных лабораторных работ и их оформление обеспечат более глубокое освоение основных положений дисциплины, приобретение навыков практической работы, включающей элементы научных исследований.

Лабораторная работа № 1

КОНСТРУКЦИИ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Цель работы: практическое ознакомление с конструкциями прокатных станов (главной линии).

Общие сведения

Прокатный стан – технологический комплекс машин и агрегатов, предназначенных для пластической деформации металла в валках (собственно прокатки) и дальнейшей его обработки (правки, резки и пр.), транспортировки.

Для обеспечения работы прокатного стана и выпуска готовой прокатной продукции требуемого качества в прокатных цехах имеются нагревательные печи и колодцы, печи для отжига и нормализации, устройства для лужения, оцинкования и очистки поверхности, станки для шлифования и переточки валков и т.д. Все эти устройства и установки, а также крановое оборудование не входят в понятие «прокатный стан», однако они технологически необходимы для работы прокатного цеха.

Оборудование прокатного стана делится на две группы: основное и вспомогательное.

Основным называется оборудование, непосредственно связанное с вращением валков и деформацией ими прокатываемого металла. К этой группе относится оборудование, расположенное в главных линиях прокатного стана: главные электродвигатели, зубчатые передачи (редукторы, шестеренные клетки), шпиндели и муфты, а также оборудование самих рабочих клеток (валки, подушки, станины, устройства для установки валков, проводки для металла и пр.).

К **вспомогательному** относится все остальное механическое оборудование стана, предназначенное для транспортировки металла (рольганги, транспортеры), поворота и пере-

движения его при прокатке в валках (кантователи и манипуляторы), резки прокатанного металла (ножницы, пилы), его правки (правильные машины), для наматывания в бухты и рулоны (моталки), охлаждения на стеллажах и холодильниках, укладки в стопы (укладчики), нагартровки (прогладочные и дрессировочные клетки), для сушки, мойки, промасливания и упаковки металла.

Порядок выполнения работы

1. Произвести визуальный осмотр прокатного стана ДУО-220 с эскизированием компоновки его узлов и определением их назначения и конструкций: привода, ременной передачи, редуктора, шестеренной клетки, рабочей клетки, шпинделей. Изобразить кинематическую схему стана, ознакомиться с конструкцией нажимного механизма, направляющих столов и проводок.

2. Произвести визуальный осмотр специальных прокатных станов ДУО 50-80 и ДУО-600 с анализом их конструктивных особенностей [1–3].

При выполнении лабораторных работ по прокатке с расчетом конструкторско-технологических параметров процесса используется следующее оборудование, инструменты, исходные материалы:

1. Стан прокатный двухвалковый.
2. Линейка, штангенциркуль, микрометр.
3. Штамп для вырубки образцов для испытания на разрыв.
4. Испытательная машина УИМ-100.
5. Испытательная машина УИМ-50.
6. Заготовки полосы: материал – сталь 10 ГОСТ 1050–86.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОСЫ

Цель работы: усвоение методики определения геометрических параметров прокатки.

Общие сведения

В процессе прокатки полосы между встречно вращающимися валками происходит ее обжатие по толщине от размера H до размера h , вытяжка от размера l_0 до l и уширение от размера B до b (рис. 2.1 и 2.2).

Исходя из условий постоянства объема обрабатываемого давлением металла (образца)

$$H \cdot l_0 \cdot B = h \cdot l \cdot b. \quad (2.1)$$

Очаг деформации при прокатке представляет собой объем части полосы между контактирующими с валками поверхностями, сечениями входа и выхода полосы из валков.

Процесс прокатки характеризуется следующими параметрами:

абсолютным обжатием	$\Delta h = H - h,$	(2.2)
---------------------	---------------------	-------

вытяжкой	$\Delta l = l - l_0,$	(2.3)
----------	-----------------------	-------

уширением	$\Delta B = b - B,$	(2.4)
-----------	---------------------	-------

а также относительными:

обжатием	$\varepsilon = \Delta H / h,$	(2.5)
----------	-------------------------------	-------

вытяжкой	$\lambda = \Delta l / l_0,$	(2.6)
----------	-----------------------------	-------

уширением	$\eta = \Delta B / B.$	(2.7)
-----------	------------------------	-------

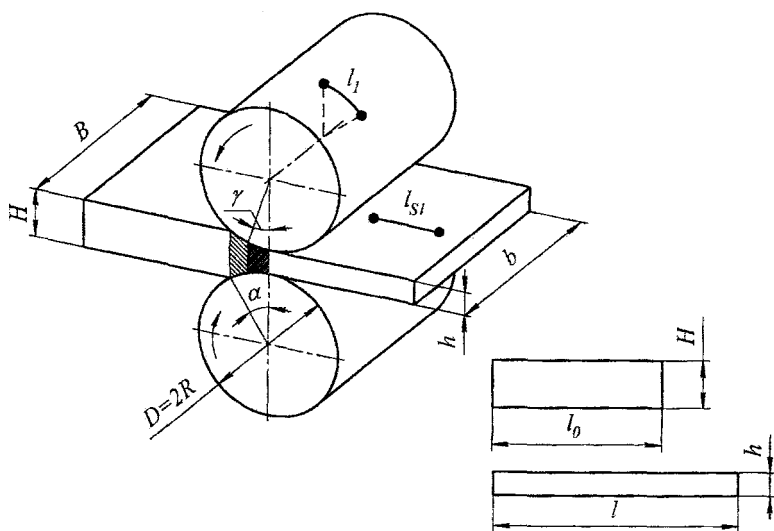


Рисунок 2.1 – Схема продольной прокатки полосы

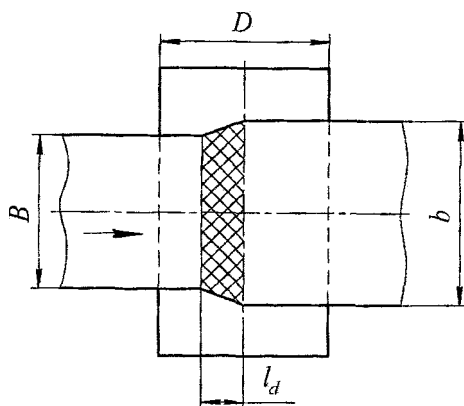


Рисунок 2.2 – Проекция контактной с валками поверхности на направлении прокатки

Дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемой заготовкой, называют дугой захвата l_a , а соответствующий ей угол α – углом захвата:

$$\alpha = \arccos(1 - \Delta h / D) \approx \sqrt{\Delta h / R} ;$$

$$l_\alpha = R \cdot \alpha \text{ (}\alpha \text{ в радианах).}$$

Проекция дуги захвата на направление прокатки (для малых углов)

$$l_d = R \sin \alpha \approx R \alpha .$$

Разность между скоростью выхода материала из валков V_M и окружной скоростью валков V_B – опережение – выражается относительной величиной

$$S = (V_M - V_B) / V_B \quad \text{или} \quad S = (l_s - \pi D) \cdot 100 / \pi D, \%,$$

где l_s – расстояние между отпечатком (тиснением) на прокатанной полосе следа от углубления на поверхности вала.

Для уменьшения длины прокатываемой заготовки на бочке вала наносятся два углубления, расстояние между которыми l_1 по дуге (см. рисунок 2.1). Тогда на прокатанной полосе измеряют расстояние между следами этих углублений l_{s1} , а опережение рассчитывают по формуле

$$S = 100(l_{s1} - l_1) / l_1, \, \% .$$

Величина опережения определяется положением нейтрального сечения, разделяющего очаг деформации (дугу захвата) на зоны отставания и опережения. В нейтральном сечении изменяется направление сил контактного трения между валком и прокатываемым материалом. Зависимость опережения от нейтрального угла γ , определяющего положение нейтрального сечения (без учета уширения), рассчитывают по формуле Экелунда:

$$S = \left(\frac{R}{h} - 0,5\right) \cdot \gamma^2$$

или для малых углов – по формуле Головина–Дроздена:

$$S = (R / h) \cdot \gamma^2.$$

Порядок выполнения работы

1. Подготовка образцов к прокатке:

- образцы очистить ветошью от посторонних предметов;
- у каждого образца измерить толщину, ширину и длину, пронумеровав их мастикой или графитовым карандашом. Результаты измерения занести в таблицу 2.1;
- на образцах толщиной 3 мм (с одной стороны) выполнить две фаски $1 \times 30^\circ$.

2. Подготовка оборудования:

- удалить с прокатного стана и окружающей территории посторонние предметы;
- включить двигатель прокатного стана и проверить взаимодействие его узлов, при этом протереть ветошью поверхность бочки валков, прижимая ветошь к валкам со стороны выхода материала из валков;
- отрегулировать положение направляющих линеек (проводок) на столе прокатного стана (по центру бочки валков, перпендикулярно плоскости прокатки оси валков);
- установить равномерный раствор валков прокаткой пробных образцов, обеспечив равномерный по длине бочки раствор, составляющий 1,5–1,6 мм.

Таблица 2.1

Результаты экспериментов по прокатке полос
и расчета энергосиловых параметров прокатки

№ экс- пери- мен- та	Размеры исход- ной заготовки			Размеры полосы после обжатия при $h_0 = \text{const}$					Рассчитанные параметры									
	H , мм	B , мм	l_0 , мм	h , мм	b , мм	l , мм	l_s , мм	Δh , мм	ΔB , мм	Δl , мм	ε	η	λ	S , %	α , рад	l_d , мм	$F_{\text{ср}}$, мм	$P_{\text{в}}$, кН
1																		
2																		
3																		
4																		

Порядок проведения эксперимента (прокатка полос в гладких валках)

Включить электродвигатель прокатного стана. При постоянном растворе валков произвести прокатку заготовок толщиной 2 мм, а затем – 3 мм так, чтобы обе метки от кернения валков зафиксировались на полосе (размер l_s). Во избежание перекоса вводить полосу в валки, прижимая к направляющей линейке и подталкивая деревянным брусом.

Проверить и при необходимости восстановить нумерацию (обозначение) каждого образца. Произвести измерение толщины, длины и ширины образцов и расстояния между отметками нанесенных на валке углублений (l_s).

Результаты измерений занести в таблицу 2.1, проверив их точность по формуле (2.1) с расчетом погрешности

$$\Delta V = (H \cdot l_0 \cdot B - h \cdot l \cdot b) \cdot 100 / (H \cdot l_0 \cdot B).$$

По формулам (2.2)–(2.7) рассчитать абсолютные и относительные обжатия, вытяжку и уширение, опережение, угол захвата, проекцию дуги захвата и площади поверхности контакта прокатываемой полосы на направление прокатки $F_{\text{ср}} = 0,5(B + l)l_d$.

Результаты измерений и расчетов по каждому образцу занести в таблицу 2.1.

Лабораторная работа № 3

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОКАТЫВАЕМОГО МЕТАЛЛА

Цель работы: изучить влияние основных характеристик холодной пластической деформации при холодной прокатке на механические свойства заготовки.

Общие сведения

Холодная пластическая деформация оказывает существенное влияние на свойства металлов. С увеличением степени деформации увеличиваются предел текучести σ_s , временное сопротивление разрыву σ_b , твердость, уменьшается деформационная способность (относительное удлинение), изменяются физические и технологические свойства.

Для определения влияния холодной деформации прокаткой на механические свойства материала образцов из исходных и прокатанных полос вырубает плоские образцы и испытывают их на растяжение до разрыва.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить (установить на пресс или испытательную машину) штамп для вырубки образцов для их испытания на разрыв.
2. Подготовить испытательную машину для разрыва образцов, вырубленных из исходных полос, и после их обжатия в валках (прокатки) с разной степенью деформации.

Порядок проведения экспериментов

1. Вырубить в штампе по одному образцу из полос до и после прокатки. Нанести на образцы риски для фиксации величины их растяжения (начальное расстояние между рисками

$l_0 = 60$ мм). Измерить толщину h_{p0} и ширину b_{p0} растягиваемой части образца (между рисками) до и после их растяжения (разрыва) и увеличенное расстояние между рисками (h_p, b_p, l_p). Рассчитать площадь сечения исходных образцов ($F_0 = h_{p0} \cdot b_{p0}$) и образцов в месте разрыва ($F_p = h_p \cdot b_p$).

2. Рассчитать временное сопротивление разрыву ($\sigma_b = P_p / F_p$, где P_p – усилие в момент разрыва образца) и относительное удлинение ($\delta = (l_p - l_{p0}) / l_{p0}$) образцов, полученных из полос до и после их прокатки.

3. Измеряемые величины и результаты расчетов занести в таблицу 3.1, сохранив индексацию таблицы 2.1.

Таблица 3.1

Результаты испытания образцов на разрыв

№ экспе- ри- мента	Размеры образцов								P_p , кН	σ_b , МПа	σ_s , МПа	δ , %
	исходные				после разрыва							
	b_p , мм	h_p , мм	l_p , мм	F_{p_2} , мм ²	b_{p0} , мм	h_{p0} , мм	l_{p0} , мм	F_{p0_2} , мм ²				
1												
2												
3												
4												

4. Полученные результаты сверить со справочными данными: сталь 10, отожженная, $\sigma_b = 340$ МПа, $\sigma_s = 210$ МПа, $\delta = 31$ %, и диаграммой упрочнения при осадке образцов (рисунок 3.1), из которой следует $\sigma_s = 300$ МПа (неупрочненная сталь 10), а для упрочненной

$$\sigma_{s0} = \sigma_s + 2,95\varepsilon^{0,64}, \text{ (10 МПа)}, \quad (3.1)$$

где σ_s – предел текучести, кг/мм²;

ε – относительная деформация, %.

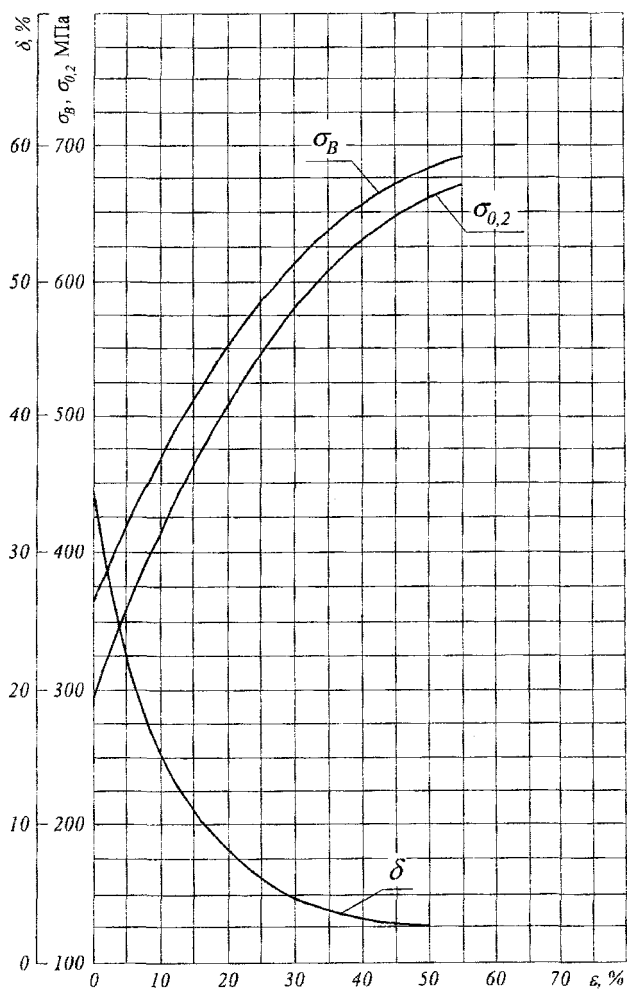


Рисунок 3.1 – График зависимости механических свойств стали 10 от величины ее холодной относительной деформации [7]

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Цель работы: приобрести практический опыт определения энергосиловых параметров при продольной прокатке полос в холодном состоянии.

Порядок выполнения работы

Для расчета энергосиловых параметров прокатки необходимо определить проекцию площади контакта валков с прокатываемым материалом на направление прокатки (см. рисунок 2.2):

$$F_d = 0,5(B + b)l_d \cong 0,5(B + b)R \sin \alpha. \quad (4.1)$$

Тогда действующее в плоскости прокатки (осей валков) усилие на валки

$$P_v = \sigma_{cp} \cdot F_d,$$

где σ_{cp} – среднее контактное с валками напряжение.

Поскольку в процессе прокатки происходит упрочнение металла с величины σ_s до σ_{sd} (3.1) среднее нормальное контактное с валками напряжение рассчитываем по формуле

$$\sigma_{cp} = 0,5\lambda(\sigma_s + \sigma_{sd}),$$

где коэффициент Лоде $\lambda = 1,15$ учитывает влияние схемы напряженного состояния (напряжения σ_2 при $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

По формулам (3.1) и (4.1) определяем силы, действующие на валки в плоскости прокатки, и крутящие моменты привода валков для всех размеров образцов. Результаты измерения заносятся в таблицу 3.1 с обозначением их под принятыми в таблице 2.1 индексами.

Крутящий момент привода одного валка равен произведению силы P_B на плечо a :

$$a = \psi \cdot \alpha \cdot R;$$

$$M_1 = a \cdot P_B = \psi \cdot \alpha \cdot R \cdot P_B,$$

а с учетом сил трения в опорах (подшипниках) диаметром d двух валков

$$M = P_B(a \cdot D + f \cdot d),$$

где f – коэффициент трения в опорах валков.

Для экспериментального определения усилия деформации продольной прокатки используется крешерный метод, который основан на использовании **крешеров** – цилиндрических образцов из пластичного материала с отношением высоты к диаметру около 1,5. Крешеры предварительно градуируются, для чего строится диаграмма усилие–деформация $P = f(\Delta h)$. Пользуясь градуировочными кривыми и измеряя высоту крешера после деформации, определяют усилие деформации. Крешеры устанавливаются под детали, где происходит наибольшее восприятие усилия деформации. Для рабочей клетки прокатного стана крешеры устанавливаются под нажимные винты.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ ПРОКАТНОГО СТАНА

Цель работы: освоение методики расчета жесткости рабочей клетки прокатного стана и установление режима прокатки с прогнозируемой точностью.

Общие сведения

Точность по толщине прокатанной в валках полосы зависит от большого числа параметров и условий процесса: точности размеров и свойств исходной заготовки, отклонения от заданной температуры, состояния поверхности, контактной с валками, условий смазки, температурно-скоростного режима и др. Все они влияют на величину действующего на валки усилия P_v и, согласно закону Гука, — на изменение зазора между валками — «игру валков»:

$$\delta = P / J ,$$

где J — жесткость (коэффициент жесткости) рабочей клетки прокатного стана.

Влияние всех этих параметров на усилие P_v и на толщину проката учитывается при настройке прокатных станов методом пробных проходов — многоразовой прокатке полос с последующей корректировкой установочного раствора валков h_0 .

При этом толщина проката рассматривается как сумма установочного раствора валков h_0 и их упругого отжатия h_y :

$$h = h_0 + h_y = h_0 + P / J .$$

На основе результатов проведенных экспериментов прокатки полос разной ширины и толщины при постоянном растворе

валков можно определить жесткость рабочей клетки прокатного стана, используя формулу отношения конечных приращений (Коши) [8], где dh и dP – разность толщин прокатанных при $h_0 = \text{const}$ заготовок и соответствующих им усилий на валки.

Характерная зависимость изменения толщины проката в функции действующих на валки усилий приведена на рисунке 5.1.

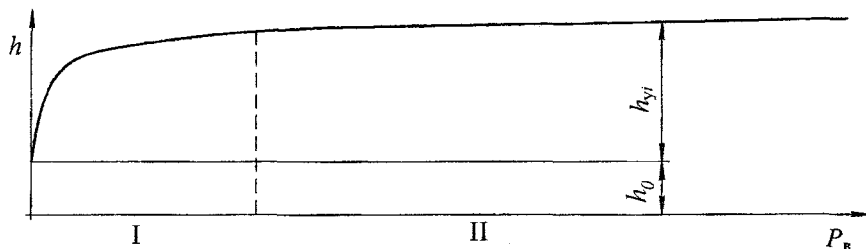


Рисунок 5.1 – График зависимости толщины проката от изменяющегося усилия на валки

Из рисунка 5.1 видно, что с увеличением усилий на валки интенсивность приращения толщины уменьшается до значений, близких к линейным, соответствующим закону Гука. Тогда из рисунка 5.1 коэффициент жесткости рабочей клетки определяется по формуле отношения конечных приращений:

$$J = (P_1 - P_2) / (h_{y1} - h_{y2}) = dP / dh.$$

Из рисунка 5.1 видно, что с точки зрения стабильности процесса предпочтительно проводить прокатку в силовом режиме, соответствующем близкой к линейной зависимости h от P_v .

Задание

Варьируя разными разностями задания определенных усилий dP и соответствующих им толщин, рассчитать коэффициент жесткости и построить зависимость $h(h_y)$ от ΔP (см. рисунок 5.1).

Лабораторная работа № 6

КОНСТРУКЦИЯ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией цепного волоочильного стана и инструментов для волочения, приемами волочения прутков и проволоки.

Общие сведения

Волочение является одним из наиболее широко распространенных видов обработки металлов давлением. При волочении металл протягивается через соответствующее отверстие волоочильного инструмента (волоки) и принимает размеры и форму этого отверстия. По схеме, представленной на рисунке 6.1, получают всю проволоку диаметром менее 6,5 мм, калиброванный металл круглого и некруглого сечения, т. е. металл с гладкой блестящей поверхностью в прутках постоянного сечения по длине, отличающийся высокой точностью, а также фасонные профили высокой точности.

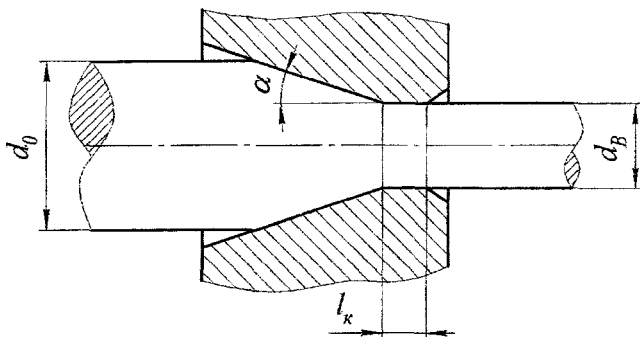


Рисунок 6.1 – Схема волочения

Для определения усилия волочения круглой проволоки используют следующую формулу:

$$P = 0,6d_0^2 \cdot \sigma_B \sqrt{\varepsilon},$$

где ε – единичное обжатие проволоки:

$$\varepsilon = \frac{d_0^2 - d_B^2}{d_0^2};$$

d_0 и d_B – начальный и конечный диаметры проволоки;
 σ_B – временное сопротивление металла проволоки, Н/м².

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией волочильного стана, заэскизировать его кинематическую схему и компоновку основных узлов. Подготовить заготовку под волочение (заострить конец), смазать ее и волоку. Включить волочильный стан и проверить взаимодействие его узлов.

2. Ввести заостренный конец заготовки, измерить ее диаметр d_0 и длину l_0 конца заготовки. Установить волоку на волочильную доску, губками каретки зажать конец и осуществить волочение.

3. Проволочить образцы с измерением усилия (усилие измеряется отдельно на разрывной машине с использованием специальной оснастки).

4. Измерить диаметр и длину заготовки после волочения (d_B, l_B).

Проверить точность измерений, сравнивая объемы вытянутой и исходной части проволоки:

$$d_0^2 \cdot l_0 = d_B^2 \cdot l_B.$$

Погрешность измерений

$$\Delta V = \frac{(d_0^2 \cdot l_0 - d_B^2 \cdot l_B) \cdot 100}{d_0^2 \cdot l_0}, \%$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Северденко, В.П. Основы теории прокатки / В.П. Северденко. – М.:Наука и техника, 1969. – 242 с.
2. Целиков, А.И. Теория продольной прокатки / А.И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян. – М.:Металлургия, 1980. – 319 с.
3. Королев, А.А. Механическое оборудование прокатных цехов / А.А. Королев, Г.М. Николаевский. – М.: Металлургиздат, 1953. – 440 с.
4. Полухин, П.И. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов / П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
5. Обработка металлов давлением / И.М. Павлов [и др.]. – М.: Металлургиздат, 1955. – 483 с.
6. Ложечников, Е.Б. Математическое моделирование продольной прокатки / Е.Б. Ложечников, М.В. Кудин // Вестник БНТУ. – 2004. – № 4. – С. 16–19.
7. Третьяков, А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
8. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

Учебное издание

ПРОКАТКА И ВОЛОЧЕНИЕ

Лабораторный практикум
для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины
и технология обработки материалов давлением»

Составители:
ЛОЖЕЧНИКОВ Евгений Борисович
БЕЛЯВИН Климентий Евгеньевич
КУДИН Максим Валентинович

Редактор Т.Н. Микулик
Технический редактор О.В. Дубовик
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

Подписано в печать 29.09.2009.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 100. Заказ 663.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.